

Exercice 1 : Suivi de l'alimentation avant la naissance

Mots-clés : Échographie Doppler, échographie, fréquence, vitesse, durée de parcours.

Document 1 : Suivi du flux sanguin dans le cordon ombilical par échographie Doppler

L'échographie Doppler permet de mesurer la vitesse de la circulation du sang dans le cordon ombilical où transitent les nutriments qui alimentent le fœtus.

Lorsqu'une onde sonore ou ultrasonore émise par un émetteur rencontre un obstacle fixe, la fréquence de l'onde réfléchiée est identique à la fréquence de l'onde émise.

Si l'obstacle se déplace, la fréquence de l'onde réfléchiée f_R est différente de la fréquence de l'onde émise f_E .

Cette variation de fréquence permet de déterminer le sens et la vitesse de déplacement de l'obstacle.

Document 2 Le décalage de fréquence.

La mesure du décalage de fréquence entre l'onde incidente et l'onde réfléchiée est noté Δf . Il est mesuré en Hertz (Hz) et est donné par la relation suivante :

$$\Delta f = \frac{2 \times f_E \times v \times \cos \theta}{c}$$

Avec : f_E : fréquence de l'onde ultrasonore émise en hertz (Hz)

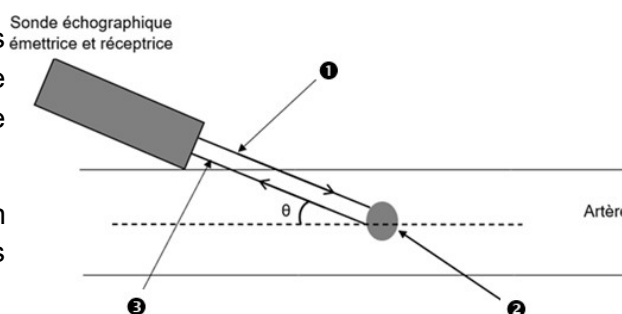
v : vitesse de déplacement des globules rouges en m/s dans le vaisseau sanguin

θ : angle entre la direction de l'onde ultrasonore émise et la direction du déplacement des globules rouges dans le vaisseau sanguin étudié.

c : vitesse moyenne des ultrasons dans le corps humain soit 1540 m/s.

1. Expliquer en quelques mots le phénomène qu'on appelle « effet Doppler ». Vous pouvez vous appuyer sur un exemple de votre vie quotidienne pour illustrer vos propos.
2. Indiquer quels sont les obstacles en mouvement sur lesquels les ondes ultrasonores sont réfléchies lors d'une échographie Doppler du cordon ombilical.

3. Indiquer à quoi correspondent les éléments identifiés par des numéros ① ② ③ sur le schéma ci-dessous illustrant le principe de l'échographie Doppler



4. Exprimer la vitesse v d'écoulement du sang en fonction du décalage en fréquence Δf et des autres paramètres c , $\cos(\theta)$ et f_E
5. On réalise une échographie Doppler avec les données suivantes :

$$f_E = 4,5 \times 10^6 \text{ Hz} ; \Delta f = 3,0 \text{ kHz} ; \theta = 40^\circ \text{ et } c = 1540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Montrer que la vitesse v d'écoulement du sang est environ égale à $0,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans l'artère du cordon ombilical.

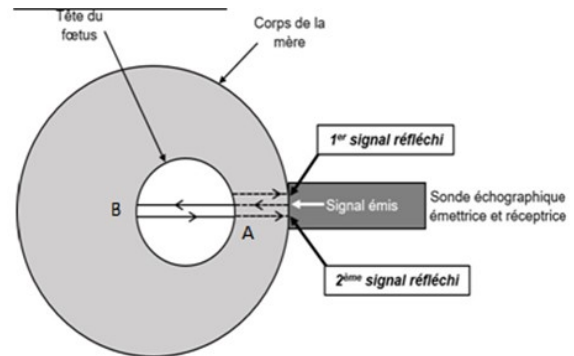
6. La vitesse normale d'écoulement sanguin dans le cordon ombilical est comprise entre 55 et $90 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Commenter la valeur trouvée à la question 4.

Document 3 Suivi de la croissance du fœtus par échographie et limites de l'examen.

Afin de suivre la croissance du fœtus, une surveillance est réalisée par échographie.

Elle permet de mesurer notamment le diamètre bipariétal AB (largeur de la tête entre les deux oreilles) qui témoigne d'une croissance harmonieuse.

Le schéma ci-contre illustre le principe de cette mesure.



La sonde reçoit deux échos (ondes réfléchies).

Le premier est dû à la réflexion de l'onde ultrasonore sur la partie de la tête la plus proche de la sonde (A). Le deuxième est dû à la réflexion de l'onde ultrasonore sur la partie opposée de la tête (B).

La durée Δt correspond à la durée qui sépare la réception des deux échos de l'onde ultrasonore émise.

Cette durée est mesurable si la fréquence de l'onde ultrasonore $f_E = 4,5 \times 10^6$ Hz et Δt vérifient relation suivante $f_E \times \Delta t > 10$

Document 4 Célérité des ondes ultrasonores.

On donne la vitesse des ondes ultrasonores en fonction du milieu traversé

Vitesse de propagation des ultrasons dans différents milieux			
Matériau/tissu	Air à 15 °C	Eau à 37 °C	Sang
Vitesse de propagation en m.s^{-1}	340	1 530	1 560

Document 5 Mesure du diamètre bipariétal par échographie.

L'échographie permet de mesurer le diamètre bipariétal à partir de l'écart de temps Δt et de la vitesse moyenne c des ultrasons dans le corps humain par la relation :

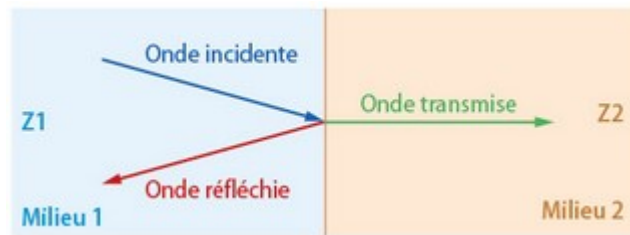
$$AB = \frac{1}{2} \times c \times \Delta t$$

La vitesse moyenne c des ultrasons dans le corps humain est égale à 1540 m/s lors de l'échographie.

- Expliquer en quelques mots la notion d'onde ultrasonore, si vous deviez l'expliquer à un camarade.
- A l'aide du document 4, quel paramètre est mis en évidence qui modifie la célérité des ondes ultrasonores ?
- Justifier la présence du coefficient $\frac{1}{2}$ dans la relation indiquée dans le **document 5** à partir du principe de mesure utilisé.
- Calculer la valeur de la durée Δt correspondant à un diamètre bipariétal $AB = 5$ cm.
- Vérifier que cette durée Δt est mesurable avec une échographie
- L'impédance acoustique d'un milieu Z , dépend de la masse volumique ρ (en kg/m^3) du milieu et la vitesse v (en m/s) de l'onde sonore.

On calcule Z (en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) grâce à la relation $Z = \rho \times v$

Une onde sonore qui se propage vers un milieu de plus grande impédance acoustique sera en grande partie réfléchi à l'interface des deux milieux.



On donne les impédances acoustiques de l'air et de la peau

	Air	Peau
Impédance acoustique en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	442	$1,40 \times 10^6$

Indiquer ce qui se passe lorsque des ultrasons se propagent de l'air vers la peau. Expliquer.

13. Calculer l'impédance Z du gel que l'on applique sur la peau lors d'une échographie.

Justifier l'utilisation de ce gel.

Données : $\rho = 1\,070 \text{ kg/m}^3$ et $v = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

Exercice 2 : IRM et diagnostic différentiel de la SLA (10 points)

Mots-clés : Produits de contraste pour l'IRM, domaines du spectre des ondes

La sclérose latérale amyotrophique (SLA), ou maladie de Charcot, est une maladie neurodégénérative. Elle est caractérisée par un affaiblissement puis une paralysie des muscles des membres, des muscles respiratoires, ainsi que des muscles contrôlant la déglutition et la parole. Les fonctions intellectuelles et sensorielles ne sont cependant pas atteintes. La maladie évolutive grave, qui résulte de la mort des neurones moteurs et réduit de vie des personnes atteintes.

En France, la prévalence de cette maladie est estimée à 1 malade sur 25 000 personnes, avec plus de 800 nouveaux cas diagnostiqués chaque année.

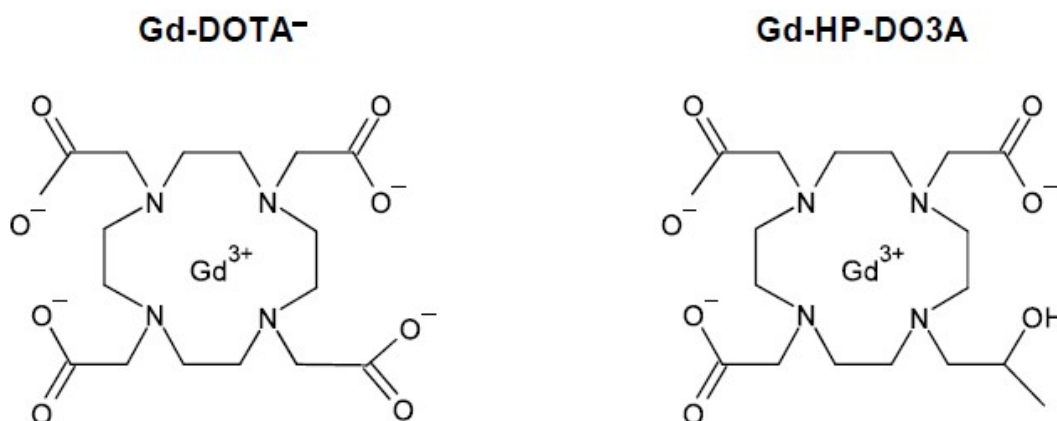
Le diagnostic de la SLA peut être complexe, en particulier au début. Une IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) repose sur les propriétés magnétiques des noyaux d'atomes d'hydrogène (protons). L'IRM du cerveau ou de la moelle est souvent réalisée. Les lésions de la SLA étant difficiles à observer, l'IRM a pour but d'exclure d'autres atteintes du système nerveux telles que la sclérose en plaques ou des tumeurs.

Document 1 : Produits de contraste.

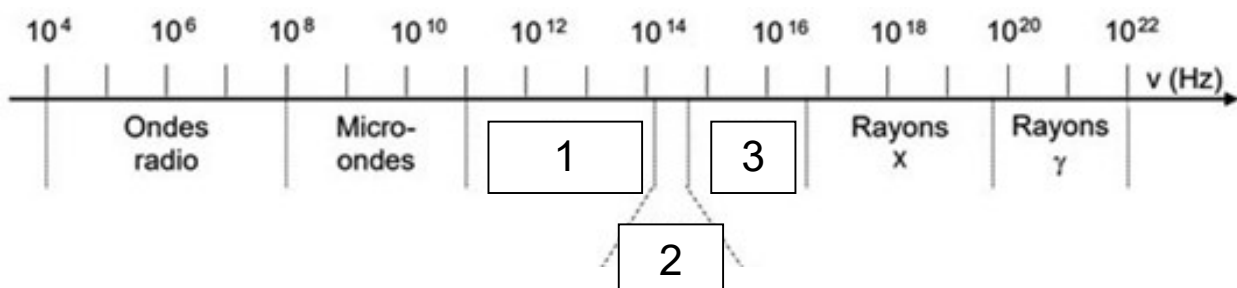
Dans certains cas, la réalisation d'une IRM nécessite l'injection d'un produit de contraste. L'ion gadolinium Gd^{3+} est bien adapté pour concevoir des agents de contraste. Néanmoins, à cause de sa haute toxicité, il ne peut être utilisé sous sa forme ionique libre Gd^{3+} . Il est possible de masquer cette toxicité en associant l'ion Gd^{3+} à certaines molécules appelées ligands. C'est le cas des deux agents de contraste $Gd-DOTA^-$ et $Gd-HP-DO3A$ dont les structures sont schématisées ci-dessous.

Pour garantir l'innocuité de ces composés tout au long de leur séjour dans l'organisme, leur stabilité chimique est primordiale.

Le choix d'un produit de contraste dépend de ses propriétés d'accès à des territoires pathologiques précis. Il faut pour cela optimiser l'affinité et la sélectivité du produit pour la cible visée et s'assurer de la bonne tolérance pour le patient.



Document 2. Domaines de fréquences des ondes électromagnétiques



Document 3. Radiographie

Cliché a
Examen réalisé sans injection de
produit de contraste.



Cliché b
Examen réalisé 40 minutes après l'injection
intraveineuse d'un produit de contraste.



1. Justifier qualitativement l'abondance des atomes d'hydrogène dans le corps humain
2. Quelle est la signification du sigle IRM ?
3. Compléter le document 2, avec les notions de lumière visible, Infra Rouge et Ultra Violet.
4. La fréquence d'une onde électromagnétique émise par l'appareil d'IRM est $\nu = 64 \text{ MHz}$.
A l'aide du document 2, repérer puis indiquer à quel domaine appartient cette onde électromagnétique.
Rappel : $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$.
5. La radiographie est une autre technique d'imagerie médicale. Rappeler le domaine auquel appartient le rayonnement électromagnétique utilisé en radiographie.
En vous aidant du document 3, préciser le principe physique d'obtention des imageries par radiographie.
Interpréter les nuances observées sur un cliché de radiographie.
Expliquer à quoi sert un produit de contraste en imagerie médicale.
6. A partir de sa formule donnée dans le document 1, justifier la charge électrique portée Gd-DOTA^- et montrer que Gd-HP-DO3A est électriquement neutre.
7. Préciser l'intérêt de disposer de produits de contraste avec des propriétés chimiques différentes.
8. La durée d'élimination d'un produit de contraste est un critère de choix. Expliquer pourquoi. Indiquer d'autres critères de choix d'un produit de contraste.